

УДК 622.692.4

## ОЦІНКА МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ ГАЗОПРОВОДУ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОГО ГАЗОСПОЖИВАННЯ

*Н. Я. Дрінь, Р. Б. Стасюк*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)42157,  
e-mail: [snr@nung.edu.ua](mailto:snr@nung.edu.ua)*

*За результатами дослідження нестационарних процесів коливання тиску в газопроводі, викликаних зміною обсягів споживання газу запропоновано новий метод оцінки кількості газу в газопроводі.*

**Ключові слова:** нестационарне газоспоживання, матеріальний баланс.

*По результатам исследования нестационарных процессов колебания давления в газопроводе, вызванное изменением объемов потребления газа предложен новый метод оценки количества газа в газопроводе.*

**Ключевые слова:** нестационарное газопотребления, материальный баланс.

*Exploring the transient processes in pipeline pressure fluctuations caused by changes in gas consumption, the new method estimates the amount of gas in the pipeline.*

**Keywords:** non-stationary gas consumption, material balance.

При переході до опалювального сезону різко змінюється величина відбору газу з магістрального газопроводу. Це обумовлює нестационарний гідро газодинамічний процес, який характеризується пульсаціями тиску і витратами газу. При цьому швидкість розповсюдження хвилі тиску збігається з швидкістю звуку в газі і складає близько 500 м/с, а швидкість зміни витрати пропорційна лінійній швидкості руху газу і складає близько 10 м/с. В таких умовах підрахунки кількості газу в газопроводі за стаціонарними моделями дають суттєву похибку, що створює ефект появи аварійного витоку або несанкціонованого відбору газу.

Матеріальний баланс газу в системі газопостачання може бути зведений до рівняння

$$m(0, t) = m(L, t) + m_2, \quad (1)$$

де  $m(0, t)$ ,  $m(L, t)$  - відповідно масові витрати газу на початку і в кінці газопроводу,  $m_2$  - маса газу в газопроводі.

Очевидно, що поступлення газу в газопровід  $m(0, t)$ , і його відбір з газопроводу  $m(L, t)$  фіксується відповідними вимірювальними системами і вважаються відомими.

Тому задача матеріального балансу газопроводу зводиться до визначення маси газу в газопроводі на кожен момент часу. На основі рівняння газового стану маємо

$$m_2 = \frac{P_{cp} V}{z_{cp} R T_{cp}}, \quad (2)$$

де  $V$  - геометричний об'єм газопроводу,  $R$  - газова стала,  $P_{cp}, T_{cp}$  - відповідно середній тиск і температура,  $z_{cp}$  - коефіцієнт стисливості газу.

Нестационарний процес коливання тиску в газопроводі при зміні відбору газу описується системою рівнянь руху газу і нерозривності

$$\frac{\partial P^2}{\partial x} = -\frac{zRT}{dF^2} M^2, \quad \frac{\partial P^2}{\partial t} = \frac{c^2 \partial M}{F \partial x}. \quad (3)$$

Шляхом диференціювання рівняння руху по лінійній координаті з врахуванням рівняння нерозривності можна виключити із системи масову витрату та звести до рівняння

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2}, \quad (4)$$

де  $\lambda = \frac{c^2 d}{\lambda W}$ ,  $W$  - середня швидкість руху газу,  $c^2 = kRT$  - швидкість звуку в газі.

Враховуючи, що газопровід перед закриттям крану працював в квазістаціонарному режимі, то можна написати початкову умову в вигляді

$$P^2(x, 0) = P_n^2 - (P_n^2 - P_k^2) \frac{x}{L}. \quad (5)$$

Граничні умови визначаються за фізичними посиленнями, основне те, що на початку ділянки підтримується постійний тиск, а в кінці ділянки відома витрата в вигляді функції часу  $M(t)$ . Використовуючи рівняння руху в формі (4), отримаємо

$$P(0, t) = P_n, \quad \frac{\partial P^2}{\partial x_{x=L}} = -\mu M^2(t) \quad (6)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного опору,  $R$  - газова стала,  $T$  - середня температура газу в газопроводі,  $F$  - площа перерізу труби,  $z$  - коефіцієнт стисливості газу при середніх умовах.

Вирішення при початкових і граничних умовах, отриманих методом Фур'є, має вигляд

$$P^2(x, t) = P_n^2 - (P_n^2 - P_k^2) \frac{x}{L} - \mu \left( M_0^2 \left( 1 - \frac{x}{L} \right) - M^2(t) \right) + \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{2} \cos \frac{\pi n x}{L} \left( e^{-\frac{\pi^2 n^2 \lambda t}{L^2}} - 1 \right) \quad (7)$$

Середній тиск на лінійній ділянці в кінці трубопроводу на проміжку часу  $\tau$  можна визначити з залежності

$$P_c^2(\tau) = \frac{1}{L} \int_0^L P^2(x, t) dx. \quad (8)$$

З врахуванням (7) отримаємо після інтегрування

$$P^2(x, t) = P_c^2 - \mu \left( M_0^2 \left( 1 - \frac{x}{L} \right) - M^2(t) \right) + \frac{2L}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{2} e^{-\frac{\pi^2 n^2 \lambda t}{L^2}}. \quad (9)$$

На основі одержаних залежностей проведено аналіз зміни балансу газу в газопроводі Уренгой – Помари – Ужгород на ділянці Богородчани – Голятин. Розрахунки показали, що на протязі 20 хв. Середній тиск в газопроводі знайдений за (9) становив 6,076 МПа в порівнянні з величиною 5,56 МПа, знайденого за стаціонарною моделлю.

В результаті різниці кількості газу в газопроводі, розрахована за різними методиками, складає 0,43 млн. кг за період часу в 20 хв. Очевидно, така різниця може трактуватися як наявність аварійного витоку з газопроводу, що вимагає діагностування і проведення відновлювальних робіт.

Отже, нестационарні процеси, викликані зміною відбору газу з газопроводу, мають вплив на матеріальний баланс газопроводу, який необхідно оцінювати, використовуючи відповідні математичні моделі.

### Література

1. Ковалко М.П. Трубопровідний транспорт газу / М.П.Ковалко, В.Я.Грудз, В.Б.Михалків та ін. - Арена ЕКО, 2002.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.06.12

Рекомендована до друку оргкомітетом  
міжнародної науково-технічної конференції  
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,  
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.